

EXTRAÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA DE EDIFICAÇÕES COM ANÁLISE DO MNE

Buildings extraction relying on MNE analysis

DANIEL RODRIGUES DOS SANTOS
ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI

Universidade Estadual Paulista – UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – PPGCC

Rua: Roberto Simonsen, 305

19060-900 Presidente Prudente, S.P.

ddsantos@geoc.ufpr.br; tomaseli@prudente.unesp.

RESUMO

Para as empresas de Fotogrametria, as edificações são feições que exigem maior demanda do processo de extração, representando até 50% do total de feições que devem ser extraídas numa restituição com propósitos cadastrais. A extração semi-automática de feições tem sido apontada como a ferramenta que possibilitaria um substancial aumento na produção durante a restituição, particularmente de áreas urbanas. Uma das seqüências possíveis de processamento digital de imagens para a extração de feições é: suavização da imagem; detecção de bordas; limiarização automática; afinamento por supressão não máxima; conexão por varredura e rotulação; ajuste das retas; e fechamento de polígonos. O processo de extração de feições (especificamente de edificações) é uma tarefa complexa, pela existência de variados tipos de estruturas e formas de edificações. Para a solução do problema é desejável implementar uma ferramenta que necessite da menor interação possível com o operador, tornando o processo semi-automático. A solução ideal seria a coleta de apenas um ponto semente (dado pelo operador) e a utilização de um fluxo de etapas para extração de edificações, em conjunto com as informações de alta frequência do MNE. A hipótese deste trabalho é utilizar o MNE como um canal adicional para eliminar as linhas consideradas insignificantes no processo (por exemplo, muros, meio fio etc), mantendo-se apenas linhas de interesse que definem o topo da edificação em questão. Foram realizados experimentos com dados reais, que constatarem a eficiência da metodologia proposta, mas ainda existe a necessidade de melhoramento no processo.

Palavras chave: Extração semi-automática de feições; Extração de edificações; Modelo Numérico de Elevações.

ABSTRACT

Semi-automatic feature extraction has been considered as a tool to increase the efficiency of photogrammetric restitution. Buildings represent 50% of features that should be extracted in cadastral projects. There are several stages that can be performed for feature extraction. An example of such process is: smoothing; edge detection; thresholding; thinning; linking; adjustment of straight lines; and polygon closing. The process of feature extraction is a complex task, due to different types of structures and shapes of buildings, effect of shadows, relief displacement and other factors. The aim of this work is to present a tool that reduces the effort of photogrammetric operators in feature extraction. An ideal solution should be to collect just one seed point (by the operator), and to use an automatic dataflow for building extraction, using the DEM (Digital Elevation Model) as an additional channel to remove lines in the process. The obtained results show that the number of plotted points is reduced, mainly in isolated buildings, but it is necessary to improve the process by means of better building modeling.

Keywords: Semi-automatic feature extraction; Building Extraction; Digital Elevation Model.

1. INTRODUÇÃO

Nos primórdios da Fotogrametria surgiram os primeiros restituidores analógicos. Esses instrumentos eram de alto custo, introduziam erros provocados pelas tarefas repetitivas dos operadores e pelos componentes óticos e mecânicos, e não possuíam nenhum dispositivo automático. Com o advento dos computadores surgiu a Fotogrametria Digital, sendo então desenvolvidos os sistemas fotogramétricos digitais.

Com o surgimento dos sistemas fotogramétricos digitais, o tempo necessário para a realização das tarefas fotogramétricas diminuiu consideravelmente, devido à automação de alguns processos, tais como a geração de MDT (Modelo Digital do Terreno), orientações interior e relativa, e a produção de ortoimagens. Entretanto, a fase que demanda maior tempo dos operadores e que, portanto, é a de maior custo, ainda não está automatizada: a extração de feições.

A tecnologia computacional e fotogramétrica ainda não conseguiu substituir a inteligência humana nos processos de identificação das feições, pois este processo exige “inteligência” e a interpretação, que somente o sistema visual e cerebral do ser humano pode realizar, por enquanto. Por isso, o operador é ainda uma peça imprescindível para o funcionamento eficiente das ferramentas semi-automáticas de extração de feições.

Pelo fato das edificações demandarem maior percentual de tempo de restituição (cerca de 55%) num projeto cadastral, é de extrema importância o estudo e a implementação de algoritmos para extração semi-automática de edificações de interesse. Isto ajudará na redução do custo e tempo de produção, levando ao aumento de produtividade.

Para a solução do problema (diminuição do esforço operacional) é necessário implementar uma ferramenta que necessite da menor interação possível com o operador, tornando o processo semi-automático. Para isto, propõe-se a utilização das informações de alta frequência (bordas) do MNE gerado (convertido numa imagem em tons de cinza), como um canal adicional para eliminar linhas consideradas insignificantes após um fluxo de etapas para o processo de extração de feições, mantendo-se desta forma, apenas as linhas de interesse, que definem o topo da edificação em questão.

2. EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES

Numa restituição fotogramétrica a extração de feições é a etapa da produção que exige maior esforço por parte do operador. Por isso, existe uma grande preocupação dos fotogrametristas em relação à produtividade e, atualmente, com a eficiência das ferramentas implementadas para esta tarefa.

Cerca de 55% do total de feições que devem ser extraídas numa restituição com propósitos cadastrais são edificações.

As formas das edificações são bastante diversificadas, existindo edificações com cumes planos, com duas ou mais águas entre outros tipos, dificultando a definição de um fluxo computacional robusto.

Num processo de extração semi-automática de feições, existem variadas seqüências, estratégias e combinações de etapas. A seqüência proposta neste trabalho, incluindo uma estratégia para eliminação de linhas insignificantes, pode ser resumida na figura 1. A seqüência de etapas de 1 a 6, apresentada na figura 1, pode ser encontrada em Artero (1999) e Tommaselli (1999). As etapas de 1 a 5 podem ser encontradas em Pratt (1991) e Gonzalez e Woods (2000).

3. MODELO NUMÉRICO DE ELEVAÇÕES

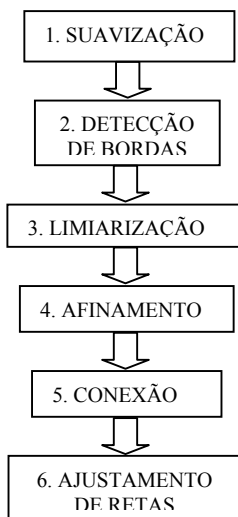
Haala (1999), considera como Modelo Digital de Superfície (MDS) aquele que inclui edificações e outros objetos (tais como árvores), ao passo que o Modelo Digital do Terreno (MDT) armazenaria apenas as altitudes dos pontos na superfície do terreno.

Para Andrade (1998), entretanto, o Modelo Digital de Elevações (MDE) contém altimetria (coordenada Z) apenas, ao passo que o Modelo Digital de Terreno envolve outras feições, além da altimetria.

Nevatia *et al* (1999), consideram o Modelo Digital de Elevações como aquele que contém todas as informações das elevações contidas em uma cena, incluindo, portanto, edificações e vegetação.

No contexto deste trabalho, o Modelo Digital do Terreno (MDT) será entendido como aquele que contém apenas a informação de altitude dos pontos contidos na superfície do terreno e o MNE como aquele que contém as informações de altitude das elevações existentes no terreno (incluindo edificações e vegetação) (Tommaselli e Santos, 2000).

Figura 1 - Uma das seqüências utilizadas para extração de feições.

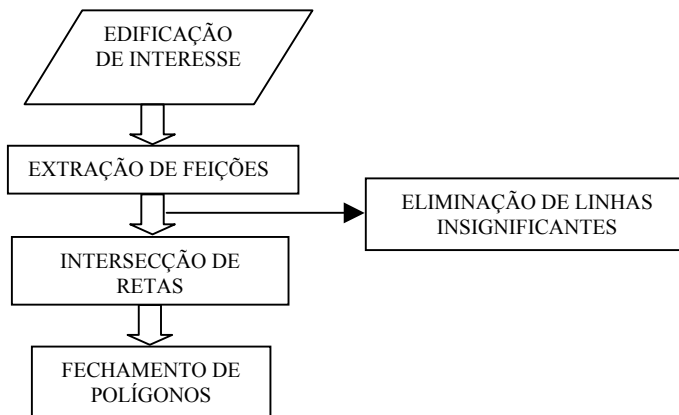


4. METODOLOGIA

A metodologia proposta é trabalhar com uma área de estudo restrita à apenas uma edificação por fluxo de etapas (figura 2), que possui seu centro de massa localizado aproximadamente no centro da imagem recortada pelo operador (extração semi-automática). Por isso, haverá preocupação apenas com edificações isoladas na imagem recortada. A hipótese do trabalho é utilizar um fluxo de etapas para a extração semi-automática de edificações de interesse, com a finalidade de detectar retas presentes na imagem recortada.

Neste trabalho, utilizou-se o sistema fotogramétrico digital Socet Set, para gerar automaticamente o MNE. As regiões de alta frequência (bordas) do MNE, gerado automaticamente pelo sistema Socet Set, serão utilizadas como informação adicional para eliminar linhas consideradas insignificantes (obtidas pelo fluxo de etapas da extração de feições) por meio de um processo de votação. Posteriormente, são encontradas as intersecções entre as retas, que definem o topo da edificação e fechados os polígonos extraídos.

Figura 2 – Fluxo da proposta do trabalho.



4.1 Conversão do MNE numa imagem em tons de cinza

O sistema Socet Set possui uma ferramenta para geração automática de MNE a partir de um estéreo-par previamente orientado. O algoritmo de correlação automática de imagens do aplicativo Socet Set, inicia seu processamento com as imagens em seu menor nível da pirâmide de imagens e com uma malha pouco densa, sendo aumentada sucessivamente a densidade da malha para cada nível da pirâmide, até atingir o nível original (1:1) (User's Manual, 1998). No aplicativo Socet Set, existem dois métodos de geração de Modelos de Elevações:

- **Método adaptativo:** gera estratégias de correlação que se adaptam à movimentação do terreno; e
- **Método não-adaptativo:** requer uma estratégia previamente definida pelo usuário.

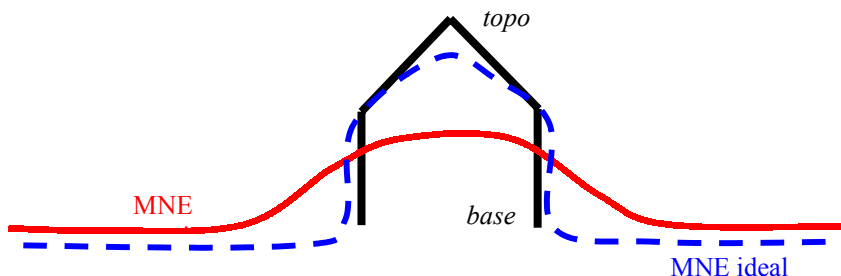
Para gerar o Modelo de Elevações automaticamente no aplicativo, é necessário que o operador defina alguns parâmetros:

- Espaçamento entre os pontos que deverão ser gerados. Como é necessária alta precisão na modelagem das Elevações presentes no terreno, utiliza-se o GSD (*Ground Sample Distance*), que representa o tamanho do pixel no terreno;
- Tipo de formato (rede triangular). Neste trabalho foi utilizado o formato grade; e
- Área que define a edificação de interesse, definida interativamente pelo operador.

Gerado o MNE, o que se tem são informações das coordenadas plano-altimétricas (E, N e H) de cada ponto correspondente no terreno.

Neste trabalho, as informações de interesse são aquelas que definem o topo das edificações. Para a conversão do MNE gerado numa imagem em tons de cinza, é necessária a informação da altitude do topo da edificação. Seria possível obter a informação do topo e da base automaticamente, procurando-se a altitude máxima e mínima do MNE, caso não ocorresse uma suavização na geração do Modelo de Elevações (figura 3), no processo de correlação automática implementado no sistema.

Figura 3 – Representação do perfil suavizado do MNE gerado pelo sistema Socet Set.



Por este motivo, foi elaborado um processo para a determinação de um limiar para definir as altitudes que representam o topo da edificação, sendo este limiar dado por um critério de porcentagem.

No critério de porcentagem, para determinação de limiar, calcula-se um intervalo para definir as altitudes dentro de um limite de altitudes abaixo e acima do topo da edificação (figura 4):

$$\Delta h = h_{topo} - h_{base} \quad (01)$$

$$\Delta_{RP} = \Delta h * (P_L / 100) \quad (02)$$

Onde,

- Δ_{RP} : pontos com altitudes próximas ao topo da edificação, num dado PL ;
- P_L : percentual de pontos próximos da altitude do topo (dado pelo operador);
- h_{topo} : altitude do topo da edificação; e
- h_{base} : altitude da base da edificação.

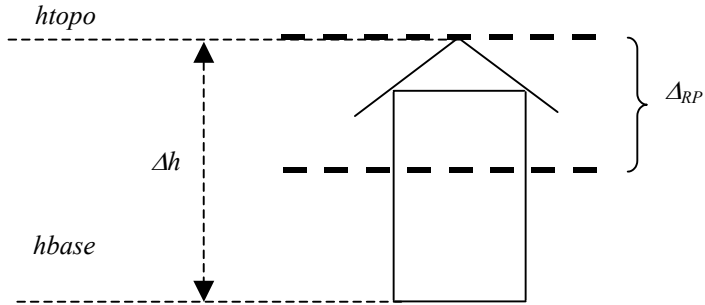
Após calcular um intervalo Δ_{RP} , é calculado a média e o desvio padrão das altitudes compreendidas no intervalo Δ_{RP} . Com isto, obtém-se um limiar para definir os pontos que representam as altitudes do topo da edificação de interesse, através de:

$$L = \bar{x} + \sigma \quad (03)$$

Onde,

- \bar{x} : média dos pontos no intervalo Δ_{RP} ;
- σ : desvio padrão da média; e
- L: limiar que define as altitudes de interesse.

Figura 4 – Região de pontos definidos dentro de um limiar de altitude do topo.



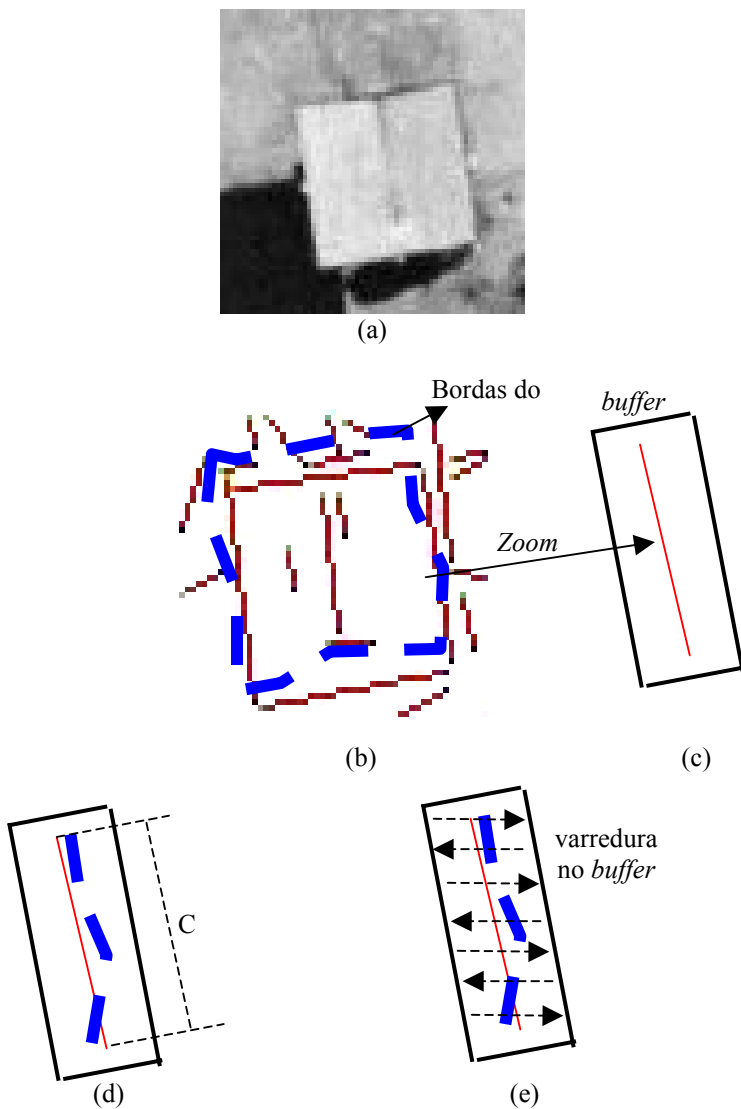
As altitudes com valores menores que o limiar (L) obtido são eliminadas do processamento e altitudes maiores ou iguais à L são mantidas no processamento, convertendo-se o MNE gerado, numa imagem em tons de cinza. Posteriormente, é aplicado um operador de detecção de bordas (Nevatia e Babu) (Pratt, 1999), obtendo-se a informação de alta frequência do MNE. Esta informação será utilizada para eliminar linhas redundantes, através de uma análise entre as retas extraídas da imagem original (tons de cinza) e as bordas do MNE detectadas.

4.2 Processo de eliminação de linhas insignificantes por votação

Através de uma análise das informações de gradiente e direção das bordas do MNE gerado (detecção de bordas), pode-se eliminar linhas insignificantes (meio fio, muros, vegetação etc.) geradas no processo de extração de edificações na imagem em tons de cinza.

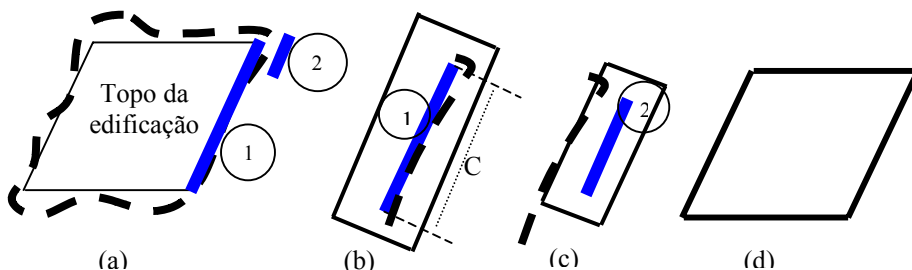
Esta análise é feita de forma que, para cada reta extraída na imagem em tons de cinza (figura 5b), seja aberta uma janela (*buffer*) de mesma direção da reta (figura 5c). É realizada então, uma varredura dentro da janela (figura 5e) acumulando-se os pixels de borda do MNE que forem encontrados, num processo de votação. Para a contagem do número de votos é definida uma tolerância da distância dada pelo comprimento da reta (C) em questão (figura 5d).

Figura 5 – (a) Imagem original; (b) Vetores extraídos da imagem em tons de cinza e bordas do MNE; (c) detalhe do vetor que será analisado; (d) Comprimento da reta; (e) Sentido de varredura dentro do *buffer*.



O processo de votação se dá pela contagem dos pixels de borda do MNE existentes dentro do *buffer* e as retas analisadas que obtiverem uma quantidade de votos dentro de um limiar definido pelo comprimento da reta (C - dada pela diferença entre os pontos inicial e final da reta) permanecem no processamento (reta 1, figura 6b) e mantêm-se ligadas para serem visualizadas. Caso a reta obtenha uma votação inferior ao limiar estabelecido pelo comprimento da reta de pesquisa (reta 2, figura 6c), a mesma é desligada do processamento (figura 6d).

Figura 6 – (a) Edificação com duas retas paralelas e próximas a serem analisadas; (b) Análise de uma reta que define o topo da edificação; (c) Análise de reta fora do topo da edificação; (d) Resultado obtido pelo processo de votação.



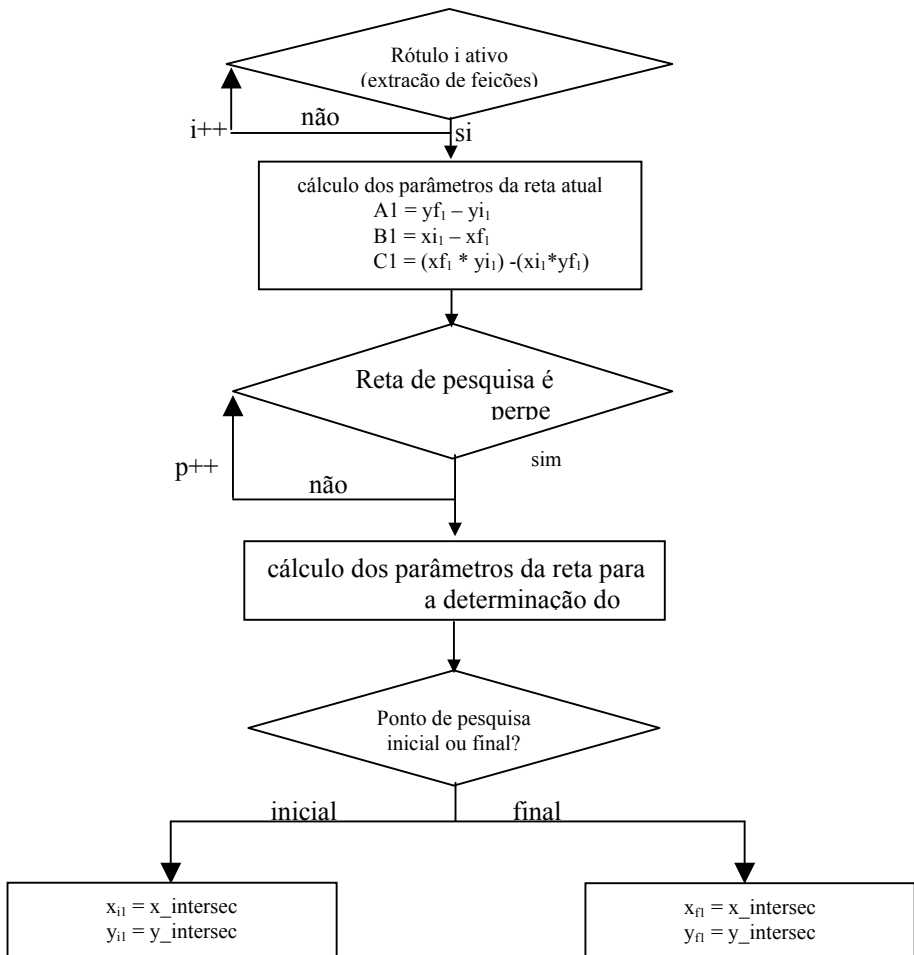
4.3 Intersecção de Retas

Como o detector de bordas fornece uma resposta pouco confiável nos cantos dos polígonos, foi implementado um algoritmo que calcula a intersecção das retas que definem o topo da edificação.

Esta etapa foi estabelecida como a última de todo processo de extração de edificações, pois muitas retas são extraídas do processo de extração de feições (retas que não definem o topo da edificação de interesse), tornando o processo de intersecção de retas muito carregado. Com isto, após o processo de eliminação de linhas insignificantes é realizada uma busca em todas as coordenadas iniciais e finais de cada reta extraída, verificando suas intersecções, através de análises de proximidade e diferença entre ângulos. A figura 7 apresenta um fluxograma da etapa de intersecção de retas.

Com a etapa de intersecção de retas, são obtidos os cantos dos polígonos formados pelas edificações. Com isto, esses polígonos são fechados finalizando o processo de extração semi-automática de edificações. Desta maneira, as edificações estão prontas para serem analisadas (adjacência, conectividade etc) e representadas num CAD.

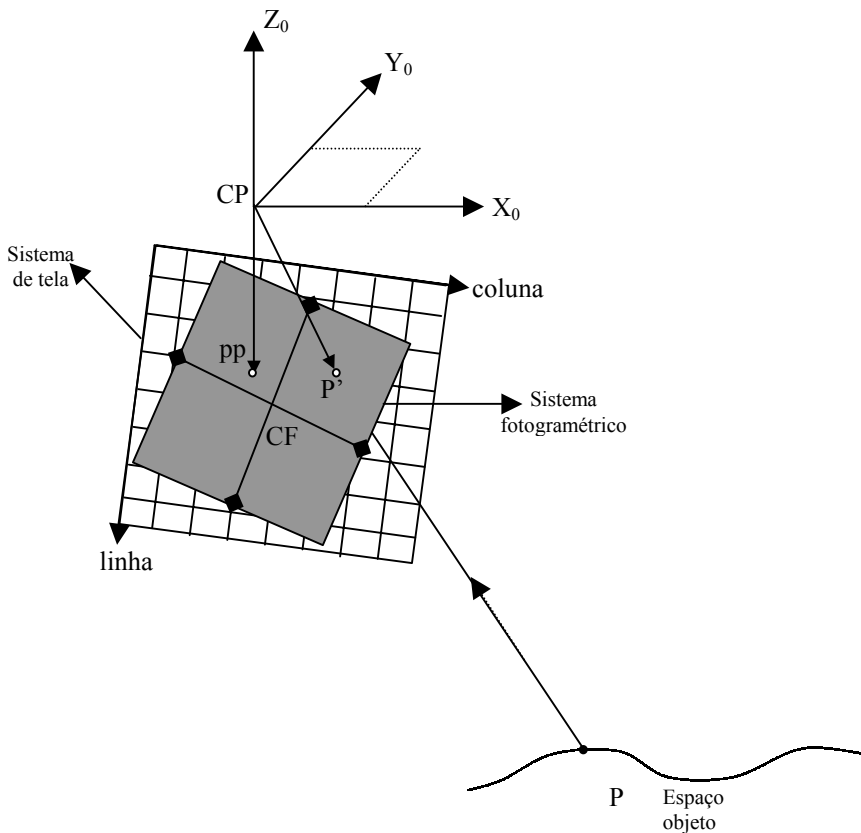
Figura 7 – Fluxograma para intersecção de retas.



4.4 Projeção do MNE para o espaço imagem

Pelo fato do sistema Socet Set trabalhar com os pontos no espaço objeto e o processo de extração, neste trabalho, é realizado no espaço de tela, é necessário projetar os pontos do MNE gerado para o espaço de tela. Para isto, são realizados 2 passos, isto é: 1) utilização da equação de colinearidade direta (Lugnani, 1987) para projetar os pontos do MNE gerado, contidos no espaço objeto, para o espaço imagem (sistema fotogramétrico); 2) utilização da transformação afim direta (Lugnani, 1987) para transformar as coordenadas fotogramétricas para o espaço de tela (sistema de tela) (figura 8).

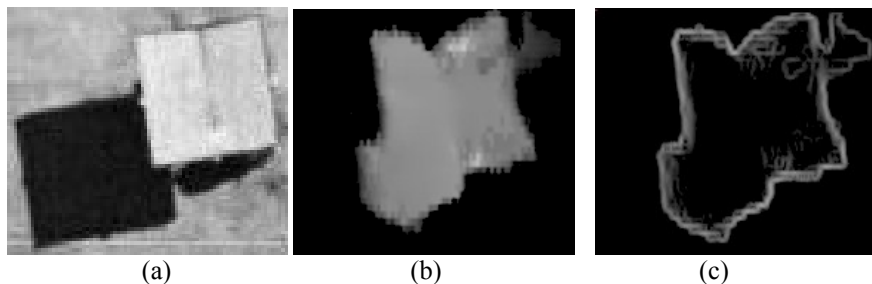
Figura 8 – Transformação de referenciais (p' -ponto imagem; P-ponto objeto; CF-centro fiducial; pp-ponto principal; CP-centro perspectivo).



5. EXPERIMENTOS

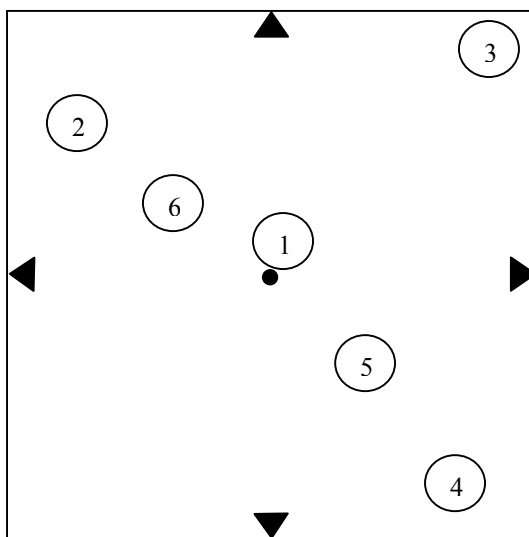
Os experimentos realizados são baseados em diversas situações de estrutura, complexidade e posição das edificações na imagem aérea, permitindo uma análise das Zonas Sem Correspondência (ZSC) relacionadas ao deslocamento devido ao relevo e sombras.

Figura 9 – (a) Imagem original; (b) MNE em tons de cinza; (c) Bordas do MNE convertido em tons de cinza.



Na figura 9a, tem-se uma edificação que pode ser considerada uma situação ideal para a ferramenta de extração semi-automática de edificações implementada, ou seja, sem presença de árvores, localizada próxima ao nadir da imagem aérea 23x23 cm (ponto 1, figura 10), não adjacente a nenhuma outra edificação, sendo o único problema a sombra projetada pela edificação de interesse. A figura 10 apresenta um esquema gráfico das posições das edificações estudadas numa fotografia 23x23 cm.

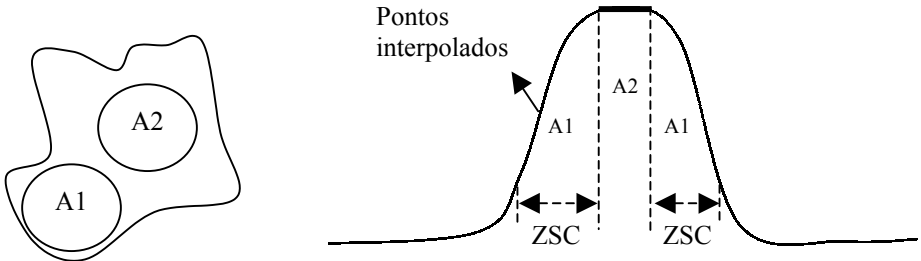
Figura 10 – Posição das edificações utilizadas neste estudo numa fotografia 23x23cm.



Nota-se na figura 9b, que ocorre uma perturbação no MNE, causada pela sombra projetada. No algoritmo de correlação automática de imagens do aplicativo

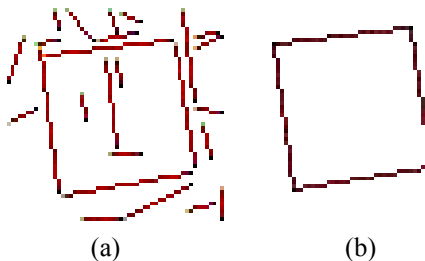
Socet Set, as áreas sem correspondência são interpoladas, influenciando no comportamento do MNE gerado (figura 11a). Na figura 11b, tem-se a área interpolada pelo algoritmo (A1) e a área correlacionada corretamente (A2).

Figura 11 – (a) Modelo de Elevação local deformado; (b) Representação de área com ZSC.



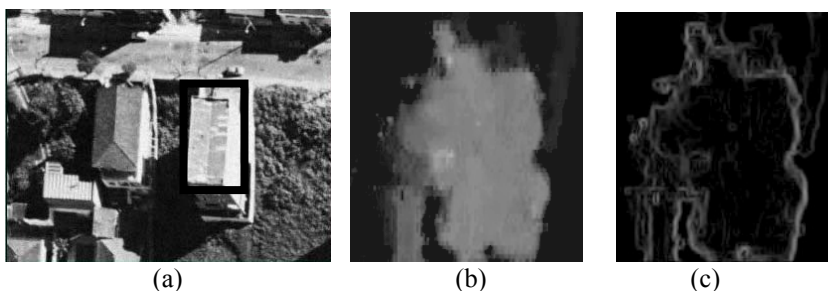
A figura 12a mostra as retas extraídas automaticamente usando o fluxo de etapas proposto (figura 1) (Artero, 1999). O resultado obtido após a utilização das bordas do MNE (figura 9c) para eliminação de Linhas insignificantes é apresentado na figura 12b. Analisando-se visualmente o resultado obtido, pode-se afirmar que as retas mantidas no processamento (4 retas significativas) são aquelas que realmente definem o topo da edificação.

Figura 12 – (a) Retas extraídas no processo de extração de feições; (b) Retas mantidas no processamento.



Na figura 12a, tem-se a imagem original de uma edificação localizada na posição 2 (figura 10). A edificação é alta (10 metros de altura), com objetos adjacentes e com uma estrutura um pouco mais complexa que a edificação apresentada na figura 9 (telhado de duas águas e muros). Nota-se visualmente, que ocorre deslocamento devido ao relevo na edificação (figura 13a).

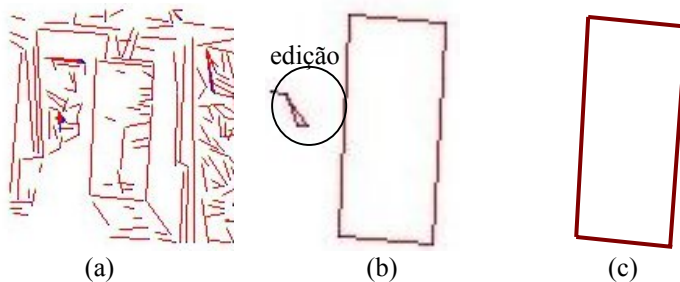
Figura 13 – (a) Imagem original; (b) (a) MNE convertido em tons de cinza; (b) Bordas do MNE.



O deslocamento devido ao relevo nas edificações causa um tipo de oclusão, ocorrendo radialmente em relação ao nadir, em razão da geometria de perspectiva central. Com isto, o algoritmo de correlação não encontra correspondência em alguns pontos nas imagens sobrepostas, interpolando pontos que não foram correlacionados.

Na figura 14a, mostra-se as retas extraídas automaticamente. Utilizando-se o processo de eliminação por votação são mantidas 4 retas significativas. Pelo fato do algoritmo de correlação de imagens do aplicativo Socet Set interpolar as ZSC, o MNE sofre algumas deformações e ocorrem casos onde retas que não definem o topo da edificação, permanecem no processo (figura 14b, edição). Neste caso, uma operação interativa torna-se necessária para a edição dessas retas (figura 14c).

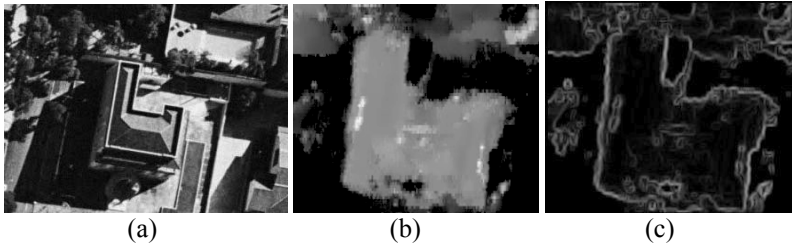
Figura 14 – (a) Vetores extraídos; (b) Resultado da operação realizada (zoom das retas significativas extraídas); (c) Resultado após edição.



Na figura 15, mostra-se uma edificação localizada nas proximidades da posição 3 (figura 10). A edificação apresenta um telhado de 4 águas com canaletas adjacentes, muros, entre outros detalhes, possuindo 5 metros de altura, além de projetar sombra no terreno. Na figura 15b, verifica-se visualmente que foram modeladas tanto a edificação de interesse quanto as árvores vizinhas. Nota-se,

também, que existe uma perturbação no MNE causada pelo deslocamento devido ao relevo (figura 15c).

Figura 15 – (a) Edificação de interesse; (b) Imagem em tons de cinza do MNE; (b) Bordas do MNE.



Neste caso, a sombra projetada pela edificação não deforma o MNE, pois a base da edificação foi correlacionada pelo algoritmo de correlação e, com isto os pontos de sombra interpolados não afetam a edificação modelada.

Na figura 16a, são mostradas as retas extraídas automaticamente a partir das imagens em tons de cinza (figura 15a) e na figura 16b, 8 retas consideradas significativas são mantidas no processamento, utilizando-se o processo por votação. Na figura 16c, nota-se que uma das retas que define o topo da edificação (linha pontilhada) foi eliminada do processo.

Isto pode ser explicado pelo fato de que, na etapa de fechamento de polígonos, o algoritmo elimina retas que não estejam conectadas com, no mínimo, duas outras retas. Com isto, torna-se necessária uma interação do operador com a ferramenta, para adicionar a reta eliminada do processo.

Figura 16 – (a) Vetores extraídos; (b) Retas significativas mantidas após o processo de votação; (c) Zoom das retas significativas extraídas.

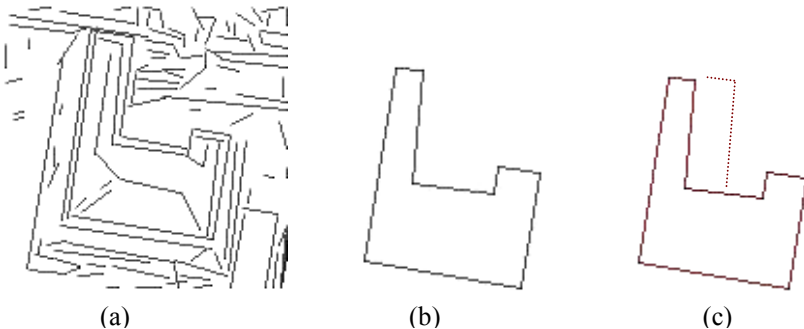
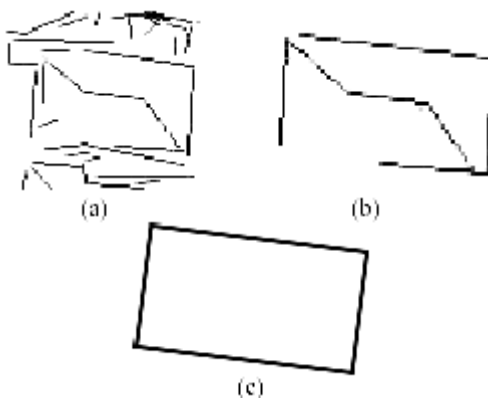


Figura 17 – Imagem original e recorte da edificação de interesse.



A edificação apresentada na figura 17 encontra-se à NE do nadir (figura 10). Nota-se que é uma edificação com uma estrutura simples, com telhado de quatro águas, adjacente à árvores e edificações, sendo uma delas com altura maior (edificação na parte inferior da tela). A edificação projeta sombra no terreno e uma borda do telhado (superior direita) não aparece na imagem, devido à posição e iluminação do Sol no momento da tomada da fotografia.

Figura 18 – (a) Retas extraídas; (b) Resultado obtido; (c) Resultado após a edição das retas.



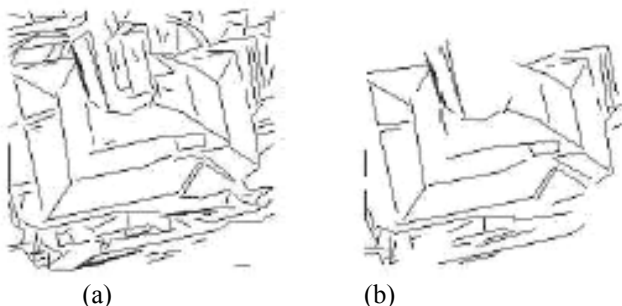
Na figura 18, pelo fato da edificação de interesse não ter bordas bem definidas (borda à esquerda), bem como a projeção de sombras das árvores adjacentes à edificação (borda superior, canto esquerdo), o processo de extração de feições não detectou eficientemente as bordas que definem a edificação. Com isto, ocorre uma quebra no alinhamento das bordas citadas acima, exigindo do operador a realização de uma pequena edição no resultado obtido, ou seja, neste caso, eliminar linhas interiores e fechar o polígono (figura 18c).

Figura 19 – Imagem original da edificação de interesse.



Na figura 19, visualiza-se uma edificação que posicionada no centro da imagem original (figura 10), não possuindo deslocamento devido ao relevo. Entretanto, é considerada uma edificação de estrutura bastante complexa. A figura 20 apresenta o resultado obtido com a ferramenta implementada.

Figura 20 – (a) Retas extraídas do processo de extração de feições; (b) Retas consideradas significativas.



Analisando-se a figura 20a, não se pode considerar o resultado obtido satisfatório, mesmo porque a edificação de interesse possui uma estrutura muito complexa e também a sombra projetada pela edificação provoca quebras no alinhamento da borda no processo de extração (figura 20b).

Na tabela 1, são apresentados os dados representativos da diminuição do esforço operacional, considerando o caso proposto, ou seja, a situação em que as linhas consideradas insignificantes são totalmente eliminadas. Na tabela 2, são apresentados os resultados obtidos considerando o caso real, onde a metodologia proposta é aplicada com dados reais inerentes aos problemas referentes à existência de variados tipos de estruturas e formas de edificações, oclusões, efeitos de sombras, deslocamentos devido ao relevo, ruídos, baixo contraste entre outros fatores, que torna a tarefa do algoritmo mais difícil.

Tabela 1 – Dados representativos da diminuição do esforço operacional no caso proposto.

Edificação de Interesse	Nº de cantos da edificação	Pontos coletados (operador)	Retas significativas	Percentual de esforço exigido (%)
Figura 9^a	4	1	4	25
Figura 13^a	4	1	4	25
Figura 15^a	8	1	8	12.5
Figura 17	4	1	4	25
Figura 19	8	1	8	12.5

Na tabela 1 e 2 foi considerado o esforço operacional para coletar os cantos das edificações, transformando esse esforço numa análise quantitativa de número de pontos a serem coletados e editados.

Tabela 2 – Dados representativos da diminuição do esforço operacional em casos reais.

Edificação de Interesse	Nº de cantos da edificação	Pontos coletados (operador)	Retas significativas	Retas a editar	Percentual de esforço exigido (%)
Figura 9a	4	1	4	-	25
Figura 13a	4	1	4	7	50
Figura 15a	8	1	8	2	37.5
Figura 17	4	1	3	4	75
Figura 19	8	1	26	18	300

De acordo com a tabela 2, pode-se verificar que para uma edificação isolada e bem definida (figura 9a), o esforço operacional diminuirá em mais de 75% (considerando que não haverá necessidade do operador coletar os cantos com precisão) em relação ao esforço que ele despenderia para restituir uma edificação manualmente. Já no caso da edificação apresentada na figura 13a, o esforço diminuirá em torno de 50%, considerando que o operador deverá editar (mais 1 ponto dado) retas que não fazem parte da edificação, mas que foram extraídas.

A edificação apresentada na figura 15a mostra que o esforço operacional exigido será de 37.5%. Ao contrário do experimento anterior, apesar do operador ter que coletar mais 2 cantos para editar a edificação, como o número de cantos a ser coletado deveria ser maior numa restituição manual (8 cantos), o resultado obtido, neste caso, ainda favorece a metodologia proposta. Isto porque a edição/eliminação interativa é menos demorada e exige menor precisão na pontaria, do que a definição precisa de um canto.

No caso do resultado obtido aplicando-se a ferramenta na edificação de interesse (figura 17), considerando as características de visualização e geometria próprias desta edificação, descritas anteriormente, pode-se afirmar que a operação manual é mais aconselhável, pois apenas 25% do esforço operacional será aproveitado, havendo a necessidade de edição.

No caso da presença de estruturas muito complexas (figura 19), é necessário que o operador realize manualmente a restituição da edificação, pois o número de retas que deverão ser editadas é muito maior que o número de pontos que devem ser coletados.

Analisando os dados e os experimentos apresentados, pode-se concluir que há um grande ganho operacional em todas as situações, embora a redução de esforço não seja a ideal, que seria aquela no qual apenas um ponto semente fosse fornecido.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um fluxo de etapas para a extração semi-automática de edificações e experimentos realizados com dados reais aplicando a ferramenta desenvolvida, que utiliza o MNE como um canal adicional para eliminação de linhas consideradas insignificantes.

Verifica-se, nos experimentos realizados com a Ferramenta de Extração Semi-Automática de Edificações (FESA) que definir um fluxo de etapas robusto é muito complicado, pois em situações reais de trabalho é difícil controlar os fatores naturais, tais como iluminação, ruídos e principalmente presença de sombras e árvores, projetadas sobre as edificações.

A avaliação da metodologia de eliminação de linhas insignificantes por votação permitiu a identificação de duas classes de:

- ✓ (1) Problemas relacionados com a imagem em tons de cinza; e
- ✓ (2) Problemas relacionados com a imagem em tons de cinza do MNE gerado automaticamente pelo sistema Socet Set.

Os problemas da classe (1) relacionam-se à presença de sombras e árvores (que cobrem a estrutura das edificações), fazendo com que o algoritmo detecte falsas bordas, e também desconecte as retas que definem o topo da edificação. No caso de presença de sombras, uma solução seria a implementação de algoritmos de reconhecimento de formas. Já para a presença de árvores, uma classificação na imagem (utilizando cores e/ou textura), separando os objetos (vegetação e edificação), seria uma solução adequada para o problema. Outra alternativa seria a utilização de imagens geradas por *Laser Scanning*, que minimiza os problemas relacionados com presença de árvores e sombras.

Os problemas da classe (2), de acordo com experimentos realizados, estão relacionados ao algoritmo de correlação automática para a geração do MNE, que é muito deficiente na modelagem de elevações (árvores e edificações), pois sofre perturbações, não sendo considerado inteiramente adequado para a solução do problema. Essas perturbações são causadas principalmente por:

- ✓ Deslocamentos devido ao relevo;
- ✓ Sombras; e
- ✓ Altura da edificação.

Os elementos anteriores fazem com que ocorram falhas na correlação dos pontos e com isto, o algoritmo implementado no sistema interpola os pontos considerados críticos e acaba gerando um MNE maior e assimétrico em relação à estrutura do topo da edificação.

Verificou-se que processo de extração de feições é uma tarefa complexa, consistindo de diferentes etapas tais como reconhecimento, computação dos atributos das feições, agrupamento, estruturação, modelamento geométrico e geração de hipóteses, bem como a verificação das mesmas. Tornar este processo automático é uma tarefa minuciosa e complicada, exigindo a integração de todas as informações possíveis de se obter.

A existência de variados tipos de estruturas e formas de edificações, oclusões, efeitos de sombras, deslocamentos devido ao relevo, ruídos, baixo contraste, entre outros fatores, torna a tarefa ainda mais difícil. De modo geral, os experimentos realizados apresentaram resultados satisfatórios, principalmente quando se tem edificações isoladas. Para melhorar a eficiência da abordagem proposta, seria recomendável incluir outras etapas de pré-processamento e a integração de mais descritores topológicos, geométricos e radiométricos para melhorar as etapas de conexão e fechamento de polígonos.

Agradecimentos: Os autores desejam expressar seus agradecimentos à **Fapesp** (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro à esta pesquisa através dos auxílios n. 97-10749-4. (Infra III) e n. 00/00539-7 (Bolsa de Mestrado).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. B., **Fotogrametria**. Curitiba, Editora SBEE, pp. 245, 1998.
- ARTERO, A. O., **Técnicas Para a Extração Automática de Feições Retas em Imagens Digitais**. Dissertação de Mestrado—Universidade Estadual Paulista, FCT, Presidente Prudente, pp. 117, 1999.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E., **Processamento de Imagens Digitais**, Tradução: Roberto Marcondes César Junior e Luciano da Fontoura Costa. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, pp. 509, 2000.
- HAALA, N.; BRENNER C., **Interpretation of Urban Surface Models Using 2D Building Information**. Computer Vision and Image Understanding. Vol. 72, n. 2, November, pp. 204-214, 1999.
- LUGNANI, J. B., **Introdução à Fototriangulação**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, pp. 134, 1987.

- NEVATIA, R.; HUERTAS, A.; KIM, Z., **The MURI Project for Rapid Feature Extraction in Urban Areas**. IAPRS. Vol. 32, Part 3-2W5 “Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery”. Munchen, September, 1999.
- PRATT, W. K., **Digital Image Processing**. John Wiley & Sons, New York, 1991.
- TOMMASELLI, A.M.G., **Extração Automática de Feições Lineares em Imagens Digitais para Aplicações Cartográficas**. Bolsa de Produtividade em Pesquisa-2C, Relatório Técnico do Período de 03/97 a 02/99, Presidente Prudente, 1999.
- TOMMASELLI, A. M. G.; Santos, D. R. , **Uma estratégia para extração semi-automática de feições com análise do MNE**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico e Multifinalitário, pp. 10, 2000.
- USERS’ MANUAL, **Socet Set version 4.1**. LH-System, 1998.

(Recebido em 10/05/02. Aceito para publicação em 16/08/02.)